

تأثیر مساحت زیرحوضه‌ها و روش‌های محاسبه زمان تمرکز بر شبیه‌سازی حجم رواناب شهری با استفاده از نرم‌افزار SewerGEMS (مطالعه موردی: شهرکرد)

محمدامین عبداللّهی، جهانگیر عابدی کوپایی* و محمد مهدی متین‌زاده^۱

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۲/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۳/۲۰)

چکیده

امروزه در پی تغییر اقلیم و گرم شدن کره زمین و با توجه به تغییراتی که در نوع بارش‌ها اتفاق افتاده و عموماً از برف به باران تبدیل شده، مشکلات مربوط به سیل و آبگرفتگی به‌ویژه در مناطق شهری افزایش یافته و به دنبال آن توجه به مدل‌های شبیه‌سازی بارش - رواناب به‌منظور مدیریت، کاهش و حل این مشکلات نیز افزایش یافته است. در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SewerGEMS، سناریوهای مختلف با هدف عملکرد این مدل با توجه به مساحت و تعداد زیرحوضه‌ها (۲ و ۸) و دوره‌های بازگشت مختلف (۲ و ۵ ساله)، همچنین مقایسه چهار روش محاسبه زمان تمرکز (Kirpich, SCSlag, Kirpich, Carter, Bransby Williams)، برای شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب در شهر شهرکرد بررسی شد. نتایج حاکی از آن است که با تغییر دوره بازگشت از ۲ به ۵ سال، دبی اوج تقریباً در همه سناریوها افزایش یافته است. همچنین با توجه به میزان خطای پیوستگی محاسبه شده، روش Kirpich در برآورد زمان تمرکز برای تعداد زیرحوضه‌های بیشتر با مساحت‌های کوچک‌تر، ارجحیت دارد. برای سناریوی ۲ زیرحوضه، ۴ درصد برای دوره بازگشت ۲ ساله و ۱۹ درصد برای دوره بازگشت ۵ ساله، میزان خطای پیوستگی محاسبه شده است. روش SCSlag در برآورد زمان تمرکز برای تعداد زیرحوضه‌های کمتر با مساحت‌های بزرگ‌تر، ارجحیت دارد. در سناریوی ۸ زیرحوضه، ۱۶ درصد برای دوره بازگشت ۲ ساله و ۱۱ درصد برای دوره بازگشت ۵ ساله، محاسبه شده است.

واژه‌های کلیدی: مدل‌های شبیه‌سازی بارش - رواناب، دوره‌های بازگشت، سیلاب شهری، زمان تمرکز، SewerGEMS

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: koupai@iut.ac.ir

مقدمه

شهرسازی با افزایش سطوح نفوذناپذیر همچون پشت‌بام خانه‌ها، جاده‌ها، و کوبیدگی خاک سبب افزایش دبی سیلاب می‌شود (۱). در پی ناکارآمدی سیستم‌های زهکشی شهری، سیل در مناطق شهری خسارت‌های زیادی به ساختمان‌ها و زیرساخت‌های خصوصی و عمومی وارد می‌کند. همچنین با مختل کردن رفت و آمدها، می‌تواند سبب از دست رفتن فرصت‌های تجاری شود (۲).

در بحث مدیریت حوضه آبریز، جمع‌آوری و کنترل سیلاب از اساسی‌ترین و مهم‌ترین موضوعات به شمار می‌رود. رویکرد مدیریت سیلاب شهری در بسیاری از کشورها در گذشته، رویکردی سنتی مبتنی بر جمع‌آوری، انتقال و دفع سیلاب بوده است. درحالی‌که امروزه رویکرد پیشنهادی، تکیه بر روش‌هایی دارد که بیشترین مطابقت را با فرایند طبیعی چرخه آب سطحی دارند، که در اصطلاح به توسعه کم اثر (Low Impact Development) معروف هستند. استفاده از این روش در کشورهای توسعه‌یافته، راهبردی مهم در راستای مدیریت سیلاب شهری به‌شمار می‌رود. شکل گرفتن کلان‌شهرها و افزایش شهرنشینی در ایران نیز سبب شده تا مدیریت سیلاب شهری اهمیت زیادی پیدا کند. با توجه به اینکه راهکارهای سنتی و قدیمی، هزینه زیادی در جمع‌آوری و دفع سیلاب دارند، بنابراین استفاده از این روش‌های نوین مورد توجه قرار گرفته است (۳). در مبحث مدیریت رواناب شهری، هدف اصلی آن است که رواناب در سطح شهر جمع‌آوری شده و از آن مجدداً استفاده شود. همچنین اثرات مخرب محیط زیستی آن کم شود (۴).

عدم اتخاذ تدابیر لازم برای کاهش خطرات ناشی از سیلاب از سوی مسئولین و عدم آگاهی مردم در مقابله با سیلاب می‌تواند خطرات ناشی از سیلاب شهری را تشدید کند. یک برنامه‌ریزی مناسب، آمادگی، اطلاع‌رسانی و پیشگیری می‌تواند منجر به کاهش خطرات و خسارات ناشی از سیلاب شود.

نرم‌افزارهای مختلفی در زمینه محاسبه و شبیه‌سازی رواناب شهری وجود دارد، که به متخصصین این حوزه کمک بسیاری می‌کنند. نرم‌افزار EPA-SWMM به نوعی از شناخته شده‌ترین،

معروف‌ترین و متداول‌ترین نرم‌افزارهایی است که متخصصین این حوزه از آن استفاده می‌کنند. نرم‌افزار ASSA یکی دیگر از نرم‌افزارهای قدرتمند این حوزه محسوب می‌شود که در مبحث رواناب‌های شهری مورد استفاده کارشناسان قرار می‌گیرد. نرم‌افزارهای جدید شرکت Bently همچون CivilStorm، StormCAD و SewerGEMS از جمله نرم‌افزارهای جدیدی هستند که مورد توجه کارشناسان و متخصصان این حوزه قرار گرفته‌اند که به نوعی در حال رقابت با نرم‌افزارهای قدیمی‌تری همچون EPA-SWMM و ASSA هستند.

پیشینه پژوهش

جداو و میشر در سال ۲۰۲۳، با استفاده از نرم‌افزار CivilStorm و روش استدلالی به برآورد رواناب و طراحی شبکه برای منطقه گاندیناگر هندوستان پرداختند. حوضه آبریز، ضریب رواناب و شدت بارندگی را از عوامل کلیدی حاکم بر طراحی نام بردند (۵). کریمی و همکاران در سال ۱۳۹۴، با استفاده از مدل EPA SWMM به شبیه‌سازی سیلاب ناشی از بارندگی در بابل‌سر پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که شیب کم یا معکوس در برخی نقاط و کوچک بودن سطح مقطع مجاری از علل اصلی آبگرفتگی شبکه در منطقه مورد نظر بود (۶). زبردست و روشنی در سال ۱۳۹۸، با استفاده از نرم‌افزار CivilStorm رواناب و هیدروگراف سیلاب را برای جنوب شهر مشهد محاسبه کرده و از آن برای گسترش فضای سبز شهری استفاده کردند. نهایتاً بیان کردند این نرم‌افزار توانایی شبیه‌سازی رواناب سطحی را برای منطقه مورد نظر دارد (۷). رفیعی و همکاران در سال ۱۴۰۱، با ارزیابی عملکرد سه مدل SewerGEMS و EPA SWMM و ASSA در راستای تحلیل سیلاب شهری در شهر جدید لار، بیان کردند که مدل EPA SWMM در مقایسه با دو مدل دیگر در منطقه مورد نظر در راستای شبیه‌سازی رواناب از دقت بیشتری برای مدیریت رواناب حوضه‌های شهری برخوردار است (۸).

هدف از این پژوهش، بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی بارش - رواناب در برآورد هیدروگراف سیلاب شهری

کاربر می‌دهد:

1. 2D solver.

2. Implicit (SewerGEMS Dynamic Wave).

3. Explicit (SWMM Solver).

4. GVF – Convex (SewerCad).

5. GVF – Rational (StormCad).

در این پژوهش از حل کننده دوم استفاده شده است. که طبق آن، معادلات کامل سنت و نانت را با استفاده از روش عددی ضمنی که توسط شرکت بتلی بر اساس مدل FLDWAV که توسط سرویس آب و هوای ایالات متحده (National Weather Service) توسعه یافته، حل می‌کند. معادلات سنت و نانت شامل دو معادله اصلی پیوستگی (معادله شماره ۱) و اندازه حرکت (مومنتم، معادله شماره ۲) است که به صورت تحلیلی و با استفاده از روش‌های عددی به حل آن‌ها می‌پردازد.

معادله پیوستگی:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

A: سطح مقطع عرضی جریان

Q: دبی جریان

t: زمان

x: محور طولی جریان

معادله اندازه حرکت:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + gAi = 0 \quad (2)$$

g: شتاب گرانش

h: عمق جریان

i: شیب انرژی

برای تخمین دبی اوج از روش استدلالی (Rational Method) (معادله شماره ۳) استفاده می‌شود که فرمول آن به شرح زیر است:

$$Q_p = 0.278CIA \quad (3)$$

Qp: دبی اوج رواناب (مترمکعب بر ثانیه)

C: ضریب رواناب

I: شدت بارندگی (میلی متر بر ساعت)

A: مساحت حوضه (کیلومتر مربع)

شهرکرد تحت سناریوهای مختلف زیرحوضه‌بندی و تعداد زیرحوضه‌ها با توجه به منحنی‌های شدت- مدت- فراوانی (Intensity - Duration - Frequency Curves) (IDF) و همچنین شبیه‌سازی تأثیر روش‌های مختلف محاسبه زمان تمرکز در هیدروگراف خروجی، با استفاده از نرم‌افزار SewerGEMS است. نوآوری این پژوهش بررسی همزمان حوضه‌بندی و تعداد زیرحوضه‌ها و همچنین روش‌های محاسبه زمان تمرکز بر شبیه‌سازی هیدروگراف رواناب شهری شهر شهرکرد با استفاده از نرم‌افزار SewerGEMS است.

مواد و روش‌ها

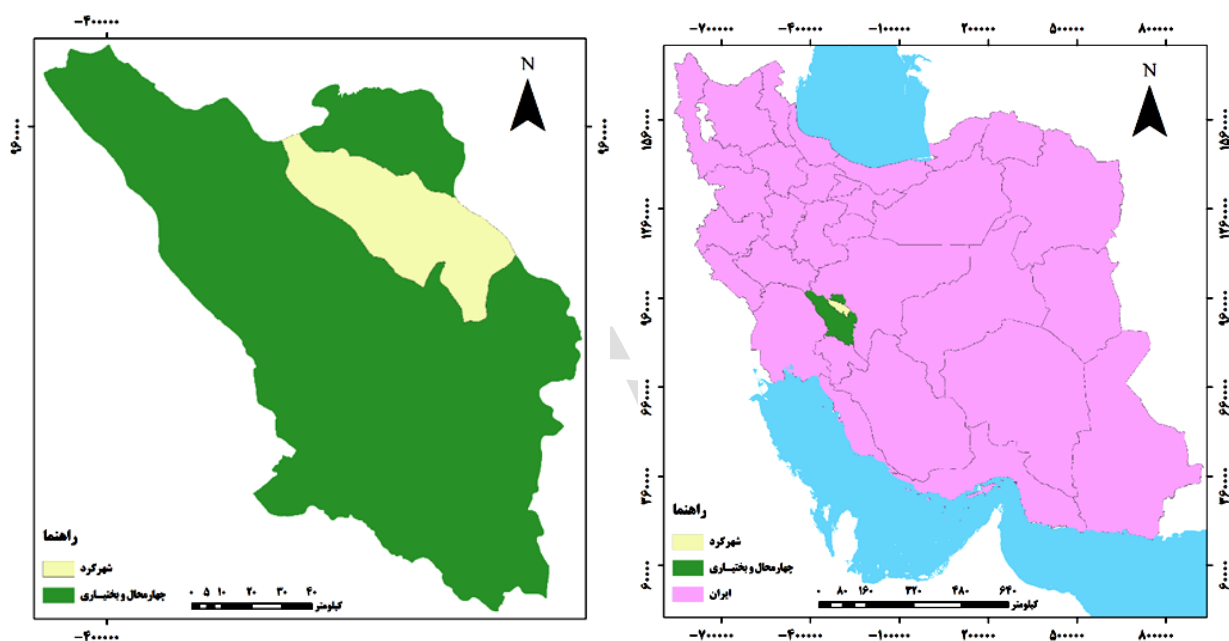
خصوصیات محدوده مورد مطالعه

شهرکرد، مرکز استان چهارمحال و بختیاری است. از لحاظ جغرافیایی در شمال رشته کوه زاگرس قرار گرفته است (شکل‌های ۱ و ۲) و میانگین دمای آن ۱۱/۵ درجه سلسیوس است.

طبق روش دومارتن، چهار اقلیم نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای، نیمه مرطوب و بسیار مرطوب برای استان چهارمحال و بختیاری تشخیص داده شده است که شهرکرد دارای اقلیمی نیمه‌خشک است (۹). لازم به ذکر است با توجه به اختلاف ارتفاع زیاد (حدود ۲۰۴۵ تا ۲۳۰۰ متر)، دارای شیب طولی زیاد است (شکل ۳).

معرفی نرم‌افزار

این نرم‌افزار امکان تحلیل و بررسی رواناب سطحی و حتی فاضلاب را به کاربر می‌دهد. برای تحلیل و بررسی می‌توان از الگوریتم استفاده شده در نرم‌افزار SWMM و یا حل ضمنی معادلات کامل سنت و نانت (Saint Venant) استفاده کرد. همچنین از قابلیت‌های این نرم‌افزار این است که توانایی ارائه جامع‌ترین راه حل موجود برای بهینه‌سازی طرح‌های بهترین روش‌های مدیریت (BMP) (Best Management Practices) را به کاربر می‌دهد. این نرم‌افزار قابلیت استفاده از پنج حل کننده (Solver) عددی زیر به منظور شبیه‌سازی روندیابی جریان به



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی استان چهارمحال و بختیاری، شهرکرد

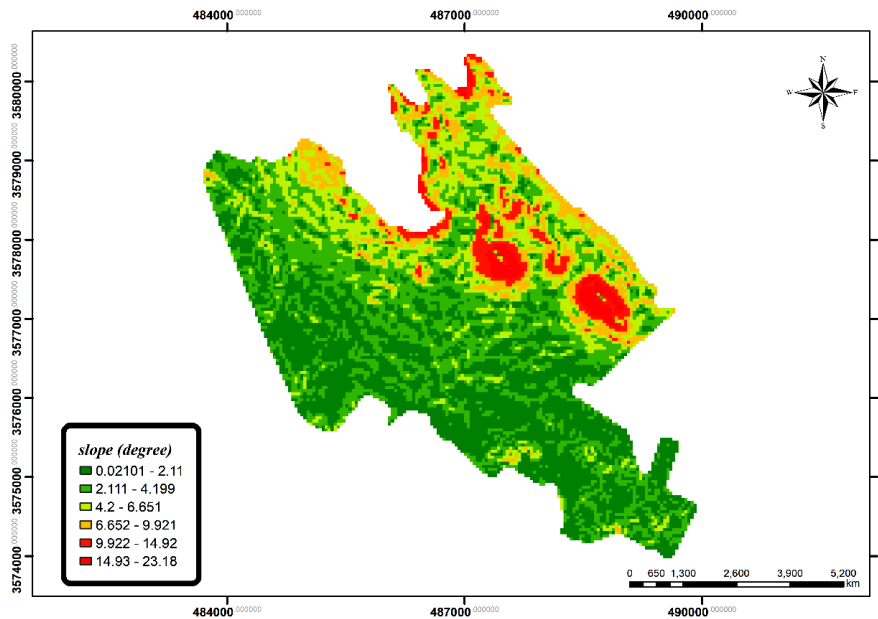


شکل ۲. محدوده مطالعاتی

تعیین زیر حوضه‌ها، مشخصات آن‌ها و اطلاعات کانال‌ها

نظر به اینکه تشخیص میان‌آب (خط الرأس) و ژرفگاه (خط القعر) در حوضه‌های شهری بسیار مشکل است، بنابراین مرز بندی و تعیین زیر حوضه‌ها نیز بسیار مشکل خواهد بود. مرز بندی و تعیین زیر

حوضه‌ها پس از انجام بازدیدهای میدانی متعدد، گرفتن نظر تعدادی از کارشناسان با تجربه محلی و استفاده از نرم‌افزار هایی همچون Google Earth Pro و GIS و AutoCad و همچنین نقشه‌های موجود در طرح تفصیلی و نقشه جامع شهری، صورت گرفت.



شکل ۳. نقشه شیب شهرکرد

کنترل آلودگی آب (۱۱)، کمک گرفته شده است و بسته به شرایط حوضه و قضاوت در مورد وضعیت موجود، مقدار آن برای هر زیر حوضه انتخاب شده است.

خطای پیوستگی نرم‌افزار

از نظر ریاضی، خطای پیوستگی یک اختلاف در موازنه جرم است که بر حسب درصد بیان می‌شود. معیاری برای آن است که متوجه شویم به چه اندازه نتایج از نظر هیدرولیکی پایدار هستند. هرچه این مقدار کوچک‌تر باشد، نتایج از نظر هیدرولیکی پایدارتر هستند.

$$\text{Continuity Error} = |(T_i - T_o - T_f - T_d)/T_i|$$

T_i = Total Inflow Volume

T_o = Total Outflow Volume

T_f = Total Overflow volume

T_d = Total Volume Change

در این پژوهش تأثیر تعداد و مساحت زیر حوضه‌ها، زمان تمرکز محاسبه شده با روش‌های مختلف و همچنین دوره بازگشت متفاوت با استفاده از نرم‌افزار SewerGEMS بررسی شد. در سناریوی اول، محدوده مورد مطالعه به ۲ زیر حوضه تقسیم شده (شکل ۵)، زمان تمرکز با روش‌های SCSlag, Kirpich, Bransby Williams, Carter، محاسبه شده

برای اطلاعات بارش از ضرایب واسنجی شده نمودارهای شدت-مدت-فراوانی برای ایستگاه شهرکرد (شکل ۴) با دوره‌های بازگشت مختلف که توسط سازمان هواشناسی کشور ارائه شده است، استفاده شد (۱۰). سازمان هواشناسی از معادله شرمن برای این کار استفاده کرد (معادله شماره ۴) و ضرایب آن را به صورت زیر ارائه داد (جدول ۱).

$$i = \frac{a}{(D + b)^c} \quad (4)$$

i : شدت بارندگی (mm/hr)

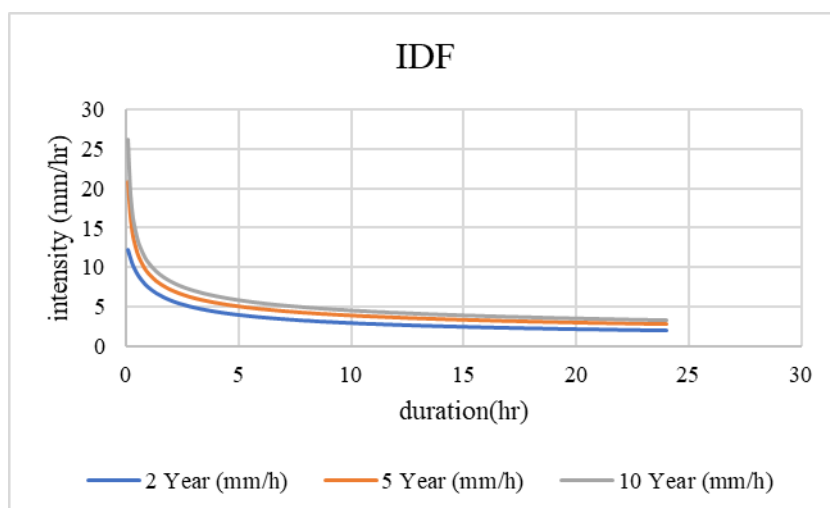
D : مدت بارندگی (hr)

a, b, c : ضرایب ثابت ارائه شده در جدول شماره ۱

شیب متوسط هر زیر حوضه با کمک نرم‌افزار GIS و نقشه‌های طرح تفصیلی و جامع شهر محاسبه شد. برای محاسبه زمان تمرکز هر زیرحوضه از چهار روش (Kirpich, SCSlag, Carter, Bransby Williams) که در نرم‌افزار SewerGEMS موجود است، استفاده شد.

تعیین ضریب رواناب و شماره منحنی

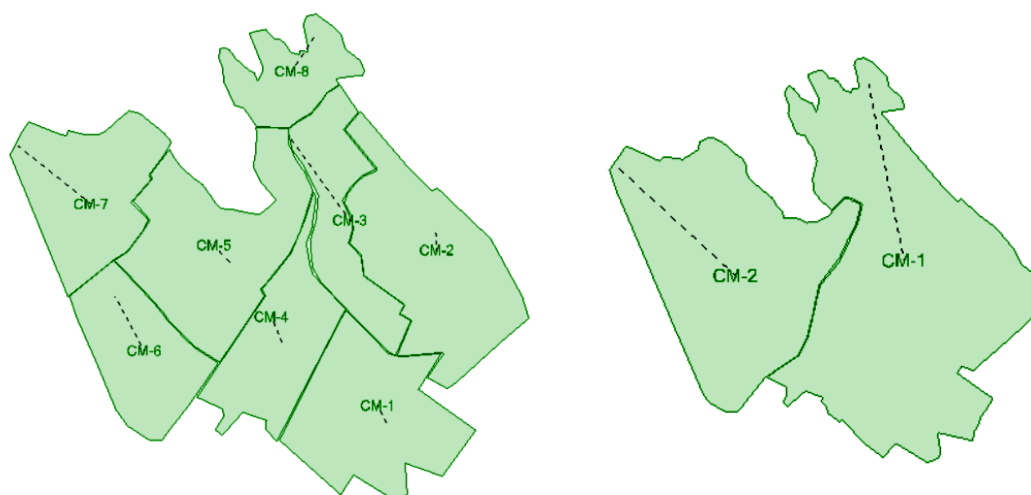
در این پژوهش از جداول ضریب رواناب و شماره منحنی پیشنهادی توسط جامعه مهندسين عمران آمریکا و فدراسيون



شکل ۴. نمودار شدت- مدت- فروانی استخراج شده از ضرایب ثابت معادله شدت- مدت- فروانی ایستگاه شهرکرد

جدول ۱. ضرایب ثابت ارائه شده توسط سازمان هواشناسی کشور برای ایستگاه شهرکرد

دوره بازگشت (سال)	a	b	c
۲	۵۹.۶۷	۲۳.۸	۰.۴۷
۵	۴۴.۱۵	۲.۲	۰.۳۸
۱۰	۴۷.۴۸	۰.۰۱۳	۰.۳۶۷



شکل ۵. تقسیم محدوده مطالعاتی به ۲ و ۸ زیر حوضه

ساله شبیه‌سازی انجام شد سپس دوره بازگشت هر دو سناریو به ۵ سال تغییر پیدا کرده و مجدداً شبیه‌سازی صورت گرفت. دبی اوج و حجم رواناب خروجی نیز برای سناریو ها محاسبه شد.

و با دوره بازگشت ۲ ساله شبیه‌سازی انجام شد در سناریوی دوم، محدوده مورد مطالعه به ۸ زیر حوضه تقسیم (شکل ۵)، زمان تمرکز با همان چهار روش قبلی، محاسبه و با دوره بازگشت ۲

نتایج و بحث

در سناریوی دو زیر حوضه با دوره بازگشت ۲ ساله که زمان تمرکز با روش‌های SCSlag, Kirpich, Bransby Williams, Carter، محاسبه شد، میزان خطای پیوستگی به ترتیب حدود ۱۶ و ۷۹ و ۴۶ و ۳۶ درصد بود (جدول ۲ و شکل ۶). در سناریوی ۸ زیرحوضه با دوره بازگشت ۲ ساله که زمان تمرکز با روش‌های SCSlag, Kirpich, Bransby Williams, Carter، محاسبه شد، میزان خطای پیوستگی به ترتیب حدود ۳۱ و ۴ و ۲۷ و ۴۷ درصد بود (جدول ۳ و شکل ۷). در سناریوی دو زیر حوضه با دوره بازگشت ۲ ساله هنگامی که دوره بازگشت به ۵ سال تغییر پیدا کرد، خطای پیوستگی به ترتیب حدود ۱۱ و ۱۳ و ۷۳ و ۳۴ درصد تغییر یافت (جدول ۴ و شکل ۸). در سناریوی ۸ زیرحوضه با دوره بازگشت ۲ ساله هنگامی که دوره بازگشت به ۵ سال تغییر پیدا کرد، خطای پیوستگی به ترتیب حدود ۴۲ و ۱۹ و ۲۶ و ۳۴ درصد تغییر یافت (جدول ۵ و شکل ۹).

نتایج نشان می‌دهد با توجه به میزان خطای پیوستگی، روش SCSlag نسبت به سایر روش‌های زمان تمرکز در سناریوی دو زیر حوضه، قابل قبول بوده است. در سناریوی ۸ زیر حوضه، روش Kirpich نسبت به سایر روش‌های زمان تمرکز، قابل قبول بوده است. می‌توان چنین برداشت کرد که روش SCSlag در حوضه‌های بزرگ‌تر عملکرد بهتری داشته، در حالی که با کوچک شدن مساحت، روش Kirpich ارجحیت دارد. همچنین با افزایش دوره بازگشت به ۵ سال، دبی اوج و حجم رواناب خروجی در همه سناریوها افزایش یافته است.

در سناریوی دو زیر حوضه با دوره بازگشت ۲ ساله، برای خروجی شماره ۲، بیشترین تخمین دبی اوج مربوط به سناریوی روش‌های Kirpich و Bransby Williams (با عددی تقریباً یکسان) بوده است و کمترین تخمین مربوط به سناریوی روش SCSlag است. باید به این نکته توجه داشت که خطای پیوستگی در روش SCSlag در این سناریو از همه کمتر بوده است. برای خروجی شماره ۱، بیشترین تخمین دبی اوج مربوط به سناریوی روش Carter بوده است و کمترین تخمین مربوط

به سناریوی روش Bransby Williams است. هنگامی که دوره بازگشت به ۵ سال تغییر پیدا کرد، برای خروجی شماره ۲، بیشترین تخمین دبی اوج مربوط به سناریوی روش Bransby Williams است و کمترین تخمین مربوط به سناریوی روش Carter است. برای خروجی شماره ۱، بیشترین تخمین دبی اوج مربوط به سناریوی روش Bransby Williams است و کمترین تخمین مربوط به سناریوی روش SCSlag است. در سناریوی هشت زیرحوضه با دوره بازگشت ۲ ساله، برای خروجی شماره ۱، بیشترین تخمین دبی اوج مربوط به سناریوی روش Carter و کمترین تخمین مربوط به سناریوی روش Bransby Williams است. برای خروجی شماره ۲، بیشترین تخمین دبی اوج مربوط به سناریوی روش Bransby Williams است. در همین سناریو هنگامی که دوره بازگشت به ۵ سال تغییر پیدا کرد، برای خروجی شماره ۱، بیشترین تخمین دبی اوج مربوط به سناریوی روش Carter و کمترین تخمین مربوط به سناریوی روش SCSlag است. برای خروجی شماره ۱، بیشترین تخمین دبی اوج مربوط به سناریوی روش Carter و کمترین تخمین مربوط به سناریوی روش SCSlag است.

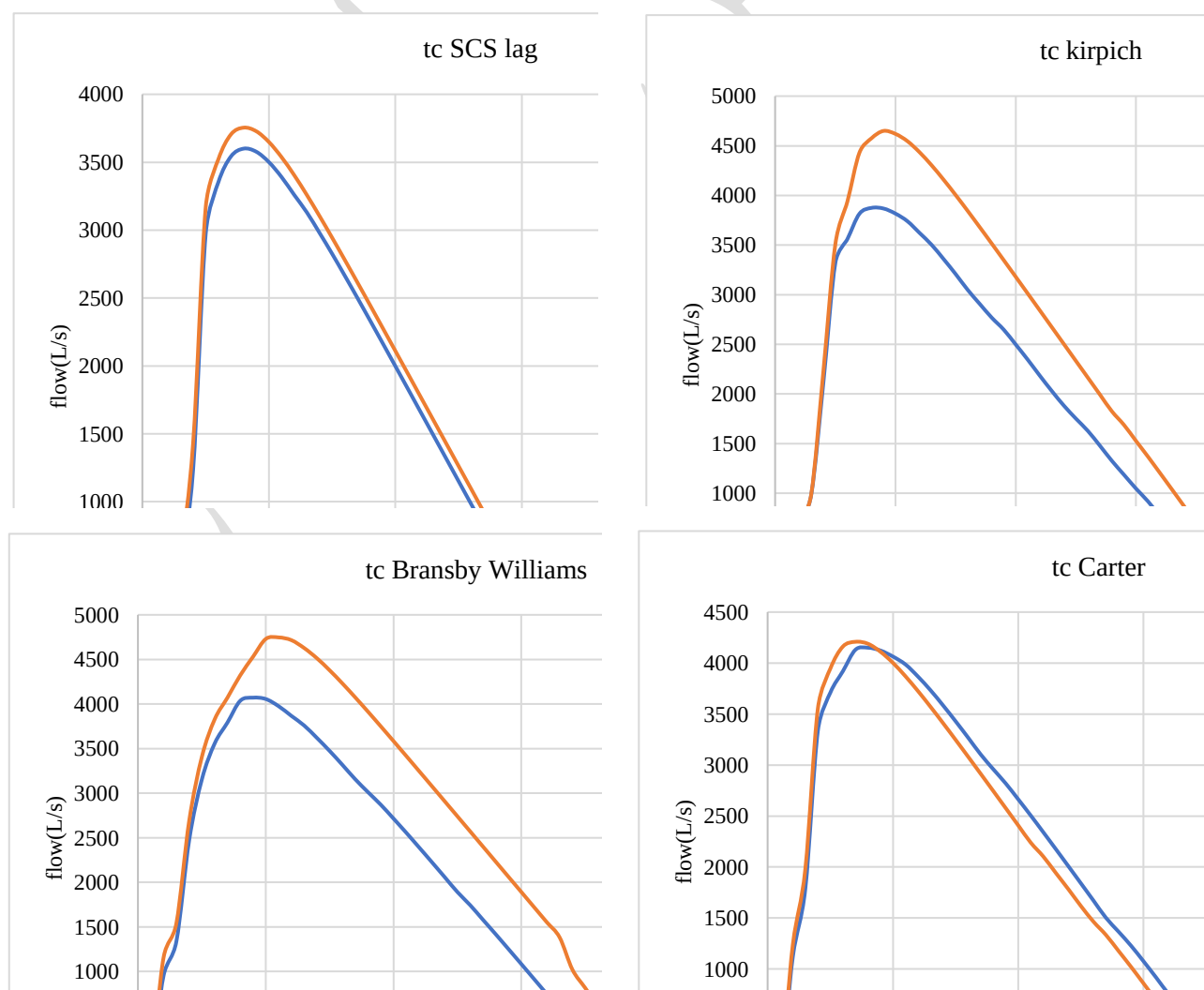
نتیجه گیری کلی

در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SewerGEMS، سناریوهای مختلف با هدف عملکرد این مدل با توجه به مساحت و تعداد زیر حوضه‌ها (۲ و ۸) و دوره‌های بازگشت مختلف (۲ و ۵ ساله)، همچنین مقایسه چهار روش محاسبه زمان تمرکز (SCSlag, Kirpich, Bransby Williams, Carter)، برای شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب در شهر شهرکرد بررسی شد. نتایج حاکی از آن است با تغییر دوره بازگشت از ۲ به ۵ سال، دبی اوج تقریباً در همه سناریو ها افزایش یافته است (به جز روش Kirpich و Carter برای سناریوی ۲ زیر حوضه در خروجی دوم و همچنین به جز روش SCSlag در سناریوی ۸ زیر حوضه برای هر دو خروجی).

جدول ۲. نتایج سناریوی ۲ زیر حوضه (CM-1 و CM-2) با دوره بازگشت ۲ ساله و با روش‌های مختلف محاسبه زمان تمرکز

نام حوضه	مساحت (ha)	شماره منحنی	ضریب رواناب	شیب (m/m)	حجم کل خروجی (m ³)
CM-2	۶۸۲/۶۷۶	۹۰	۰/۶	۰/۰۴۷	۱۵۶۳۲۱/۸
CM-1	۱,۰۵۹/۸۲	۸۹	۰/۵	۰/۰۸	۲۰۲۳۳۵/۲

زمان تمرکز (SCSlag) (hours)	خطای پیوستگی (%)	زمان تمرکز (Kirpich) (hours)	خطای پیوستگی (%)	زمان تمرکز (Bransby Williams) (hours)	خطای پیوستگی (%)	زمان تمرکز (Carter) (hours)	خطای پیوستگی (%)
۱/۴۸	۱۶	۰/۸۴	۷۹	۱/۶۶	۴۶	۰/۶	۳۶
۱/۶۸	۱۶	۱/۰۵	۷۹	۲/۲۲	۴۶	۰/۶۷	۳۶

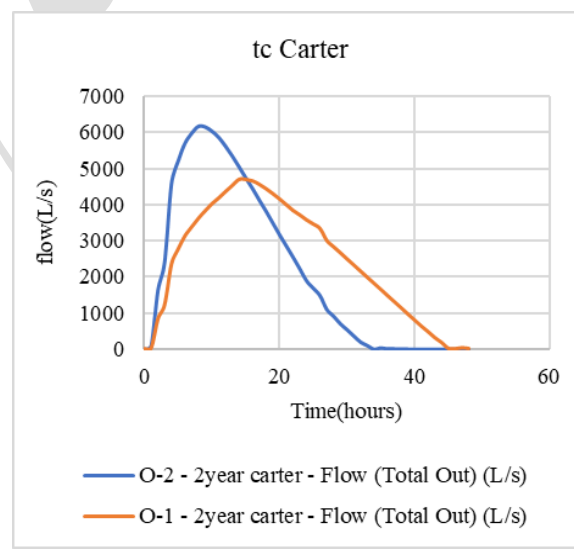
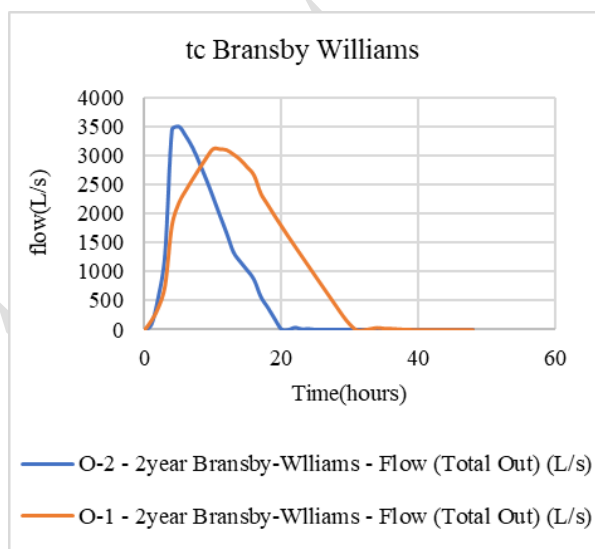
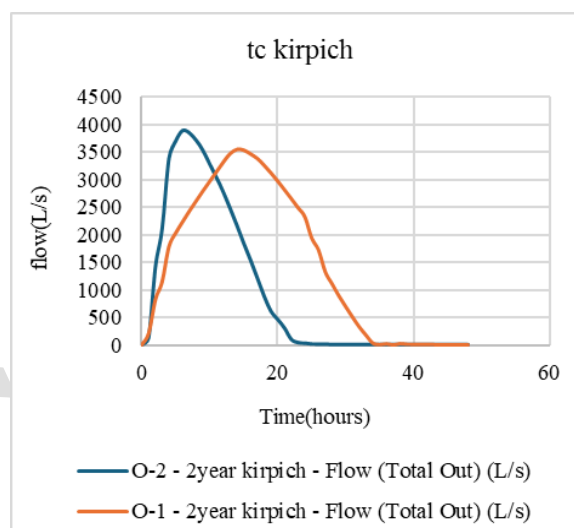
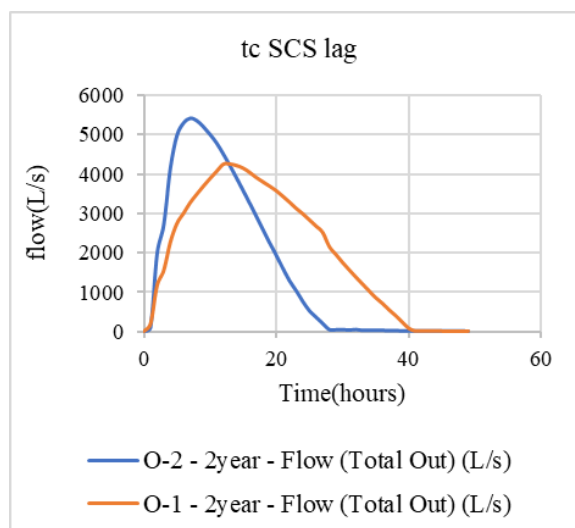


شکل ۶. هیدروگراف خرجی سیلاب شبیه‌سازی سناریوی ۲ زیر حوضه با دوره بازگشت ۲ ساله و با روش‌های مختلف محاسبه زمان تمرکز

جدول ۳. نتایج سناریوی ۸ زیر حوضه (CM-1 الی CM-8) با دوره بازگشت ۲ ساله و با روش‌های مختلف محاسبه زمان تمرکز

نام حوضه	شماره منحنی	مساحت (ha)	شیب (m/m)	ضریب رواناب	حجم کل خروجی (m ³)
CM-1	۹۰	۲۵۷/۱۸۷	۰/۰۱۸۷۷۹۴	۰/۵	۴۹,۰۷۶/۴
CM-2	۸۵	۳۰۸/۶۳۳	۰/۰۸۴۱۲۷۴۸	۰/۵	۵۸,۱۹۳/۳
CM-3	۸۰	۱۵۲/۹	۰/۱۳۶۶۱۷۶۸	۰/۴	۲۳,۳۴۱/۱
CM-4	۹۱	۱۷۸/۷۷۹	۰/۰۷۵۶۵۰۸۴	۰/۸	۵۴,۵۸۳/۵
CM-5	۸۵	۲۹۷/۷۸	۰/۰۶۴۷۸۶۱۹	۰/۶	۶۸,۱۸۶/۹
CM-6	۸۸	۱۷۵/۲۵۳	۰/۰۰۷۵۹۳۹۸	۰/۵۵	۳۶,۷۸۵/۹
CM-7	۸۵	۲۱۷/۸۴۸	۰/۰۸۲۹۰۶۴۳	۰/۵	۴۱,۵۶۹/۸
CM-8	۸۴	۱۱۳/۸۰۳	۰/۱۱۵۷۸۹۴۵	۰/۵	۲۱,۷۱۵/۸

نام حوضه	زمان تمرکز (SCSlag) (hours)	خطای پیوستگی (%)	زمان تمرکز (Kirpich) (hours)	خطای پیوستگی (%)	زمان تمرکز (Bransby Williams) (hours)	خطای پیوستگی (%)	زمان تمرکز (Carter) (hours)	خطای پیوستگی (%)
CM-1	۱/۶۹	۳۱	۰/۷۳۸	۴	۱/۴۶	۲۷	۰/۶۲	۴۷
CM-2	۱/۰۹	۳۱	۰/۵۹۳	۴	۱/۲۵	۲۷	۰/۴۴	۴۷
CM-3	۱/۱۳	۳۱	۰/۶۵۹	۴	۱/۳۹	۲۷	۰/۴۱	۴۷
CM-4	۰/۹۱	۳۱	۰/۶۸۴	۴	۱/۳۴	۲۷	۰/۴۵	۴۷
CM-5	۰/۹۵	۳۱	۰/۴۴۷	۴	۰/۹۴	۲۷	۰/۳۸	۴۷
CM-6	۱/۶۵	۳۱	۰/۶۲۴	۴	۰/۹۰	۲۷	۰/۵۳	۴۷
CM-7	۰/۷	۳۱	۰/۳۳۴	۴	۰/۷۴	۲۷	۰/۳۱	۴۷
CM-8	۰/۵	۳۱	۰/۲۳۹	۴	۰/۵۶	۲۷	۰/۲۴	۴۷

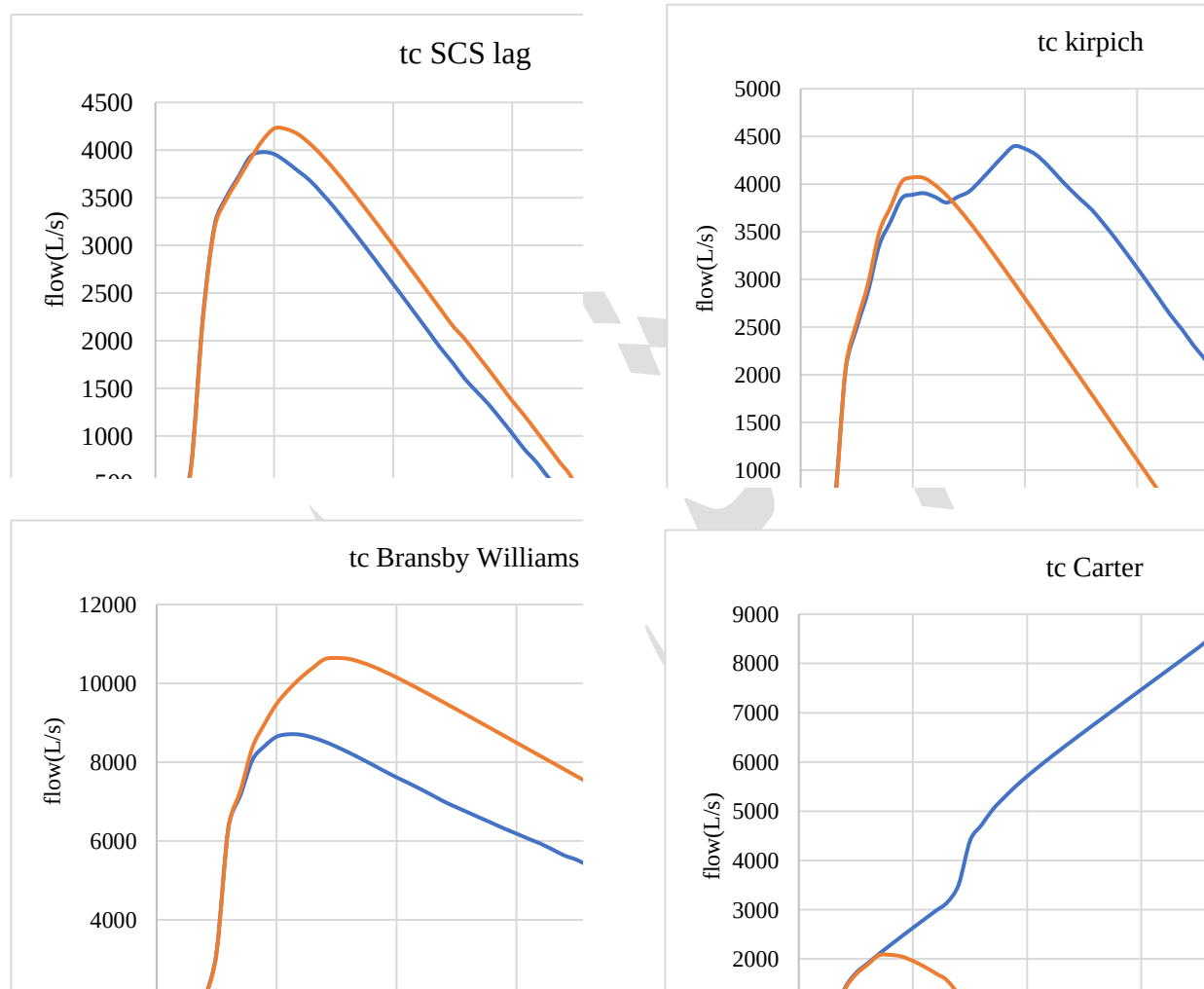


شکل ۷. هیدروگراف خرجی سیلاب شبیه‌سازی سناریوی ۸ زیر حوضه با دوره بازگشت ۲ ساله و با روش‌های مختلف محاسبه زمان تمرکز

جدول ۴. نتایج سناریوی ۲ زیر حوضه با دروه بازگشت ۵ ساله و با روش‌های مختلف محاسبه زمان تمرکز

نام حوضه	مساحت (ha)	شماره منحنی	ضریب رواناب	شیب (m/m)	حجم کل خروجی (m ³)
CM-2	۶۸۲/۶۷۶	۹۰	۰/۶	۰/۰۴۷	۲۸۹,۹۵۸/۹
CM-1	۱,۰۵۹/۸۲	۸۹	۰/۵	۰/۰۸	۳۷۵,۱۲۲/۹

نام حوضه	زمان تمرکز (SCSlag) (hours)	خطای پیوستگی (%)	زمان تمرکز (Kirpich) (hours)	خطای پیوستگی (%)	زمان تمرکز (Bransby Williams) (hours)	خطای پیوستگی (%)	خطای پیوستگی (%)
CM-2	۱/۴۸	۱۱	۰/۸۴	۱۳	۱/۶۶	۷۳	۰/۶
CM-1	۱/۶۸	۱۱	۱/۰۵	۱۳	۲/۲۲	۷۳	۰/۶۷



شکل ۸. هیدروگراف خرجی سیلاب شبیه‌سازی سناریوی ۲ زیر حوضه با دوره بازگشت ۵ ساله و با روش‌های مختلف محاسبه زمان تمرکز

حوضه، ۱۶ درصد برای دوره بازگشت ۲ ساله که مقدار آن به ترتیب ۶۳، ۳۰، ۲۰ درصد نسبت به سه روش دیگر کمتر بوده و ۱۱ درصد برای دوره بازگشت ۵ ساله که به ترتیب ۶۲، ۲۳ درصد نسبت به سه روش دیگر کمتر بوده است.

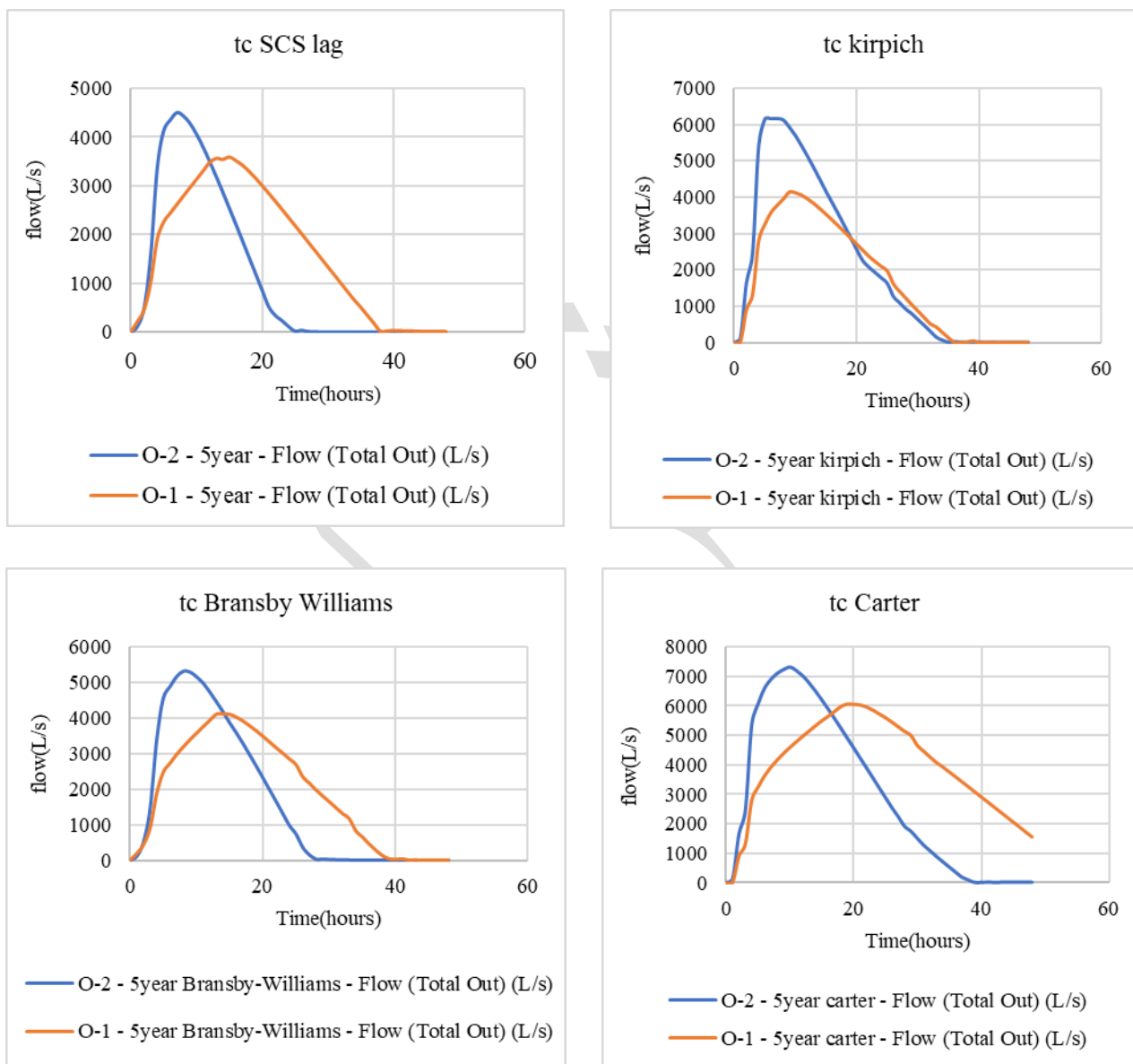
همان‌طور که نتایج نشان داد شناخت روش دقیق محاسبه زمان تمرکز در طراحی صحیح شبکه‌های آبراهه سطحی و دفع رواناب مؤثر است. به‌طوری که روش‌های مختلف محاسبه زمان تمرکز در میزان دبی اوج هیدرو گراف سیلاب تأثیر گذاشته است. ضمناً نتایج نشان داد، زیر حوضه بندی و تعداد زیر حوضه‌ها نیز تأثیر مهمی در طراحی شبکه آبراهه سطحی دارد.

همچنین با توجه به میزان خطای پیوستگی محاسبه شده، روش Kirpich در برآورد زمان تمرکز برای تعداد زیر حوضه‌های بیشتر با مساحت‌های کوچک‌تر قابل قبول‌تر است. به عبارت دیگر برای سناریوی ۸ زیر حوضه، ۴ درصد برای دوره بازگشت ۲ ساله که به ترتیب مقدار آن ۲۷، ۲۳، ۴۳ درصد نسبت به سه روش دیگر کمتر بوده و ۱۹ درصد برای دوره بازگشت ۵ ساله که مقدار آن به ترتیب ۲۳، ۷، ۱۵ درصد نسبت به سه روش دیگر کمتر بوده است. روش SCSlag در برآورد زمان تمرکز برای تعداد زیر حوضه‌های کمتر با مساحت‌های بزرگ‌تر قابل قبول‌تر است. به عبارت دیگر در سناریوی ۲ زیر

جدول ۵. نتایج سناریوی ۸ زیر حوضه با دوره بازگشت ۵ ساله و با روش‌های مختلف محاسبه زمان تمرکز

نام حوضه	شماره منحنی	مساحت (ha)	شیب (m/m)	ضریب رواناب	حجم کل خروجی (m ³)
CM-1	۹۰	۰/۵	۲۵۷/۱۸۷	۰/۰۱۸۷۷۹	۹۱,۰۳۱/۰
CM-2	۸۵	۰/۵	۳۰۸/۶۳۳	۰/۰۸۴۱۲۷	۱۰۹,۲۴۰/۳
CM-3	۸۰	۰/۴	۱۵۲/۹	۰/۱۳۶۶۱۸	۴۳,۲۹۵/۱
CM-4	۹۱	۰/۸	۱۷۸/۷۷۹	۰/۰۷۵۶۵۱	۱۰۱,۲۴۶/۱
CM-5	۸۵	۰/۶	۲۹۷/۷۸	۰/۰۶۴۷۸۶	۱۲۶,۴۷۸/۷
CM-6	۸۸	۰/۵۵	۱۷۵/۲۵۳	۰/۰۰۷۵۹۴	۶۸,۲۳۳/۵
CM-7	۸۵	۰/۵	۲۱۷/۸۴۸	۰/۰۸۲۹۰۶	۷۷,۱۰۷/۲
CM-8	۸۴	۰/۵	۱۱۳/۸۰۳	۰/۱۱۵۷۸۹	۴۰,۲۸۰/۳

نام حوضه	زمان تمرکز (SCSlag) (hours)	خطای پیوستگی (%)	زمان تمرکز (Kirpich) (hours)	خطای پیوستگی (%)	زمان تمرکز (Bransby Williams) (hours)	خطای پیوستگی (%)	زمان تمرکز (Carter) (hours)	خطای پیوستگی (%)
CM-1	۱/۶۹	۴۲	۰/۷۳۸	۱۹	۱/۴۶	۲۶	۰/۶۲	۳۴
CM-2	۱/۰۹	۴۲	۰/۵۹۳	۱۹	۱/۲۵	۲۶	۰/۴۴	۳۴
CM-3	۱/۱۳	۴۲	۰/۶۵۹	۱۹	۱/۳۹	۲۶	۰/۴۱	۳۴
CM-4	۰/۹۱	۴۲	۰/۶۸۴	۱۹	۱/۳۴	۲۶	۰/۴۵	۳۴
CM-5	۰/۹۵	۴۲	۰/۴۴۷	۱۹	۰/۹۴	۲۶	۰/۳۸	۳۴
CM-6	۱/۶۵	۴۲	۰/۶۲۴	۱۹	۰/۹۰	۲۶	۰/۵۳	۳۴
CM-7	۰/۷	۴۲	۰/۳۳۴	۱۹	۰/۷۴	۲۶	۰/۳۱	۳۴
CM-8	۰/۵	۴۲	۰/۲۳۹	۱۹	۰/۵۶	۲۶	۰/۲۴	۳۴



شکل ۹. هیدروگراف خرجی سیلاب شبیه‌سازی سناریوی ۸ زیر حوضه با دوره بازگشت ۵ ساله و با روش‌های مختلف محاسبه زمان تمرکز

منابع مورد استفاده

1. Leopold LB. Hydrology for urban land planning: A guidebook on the hydrologic effects of urban land use: US Geolgoical Survey; 1968.
2. Schmitt TG, Thomas M, Etrich N. Analysis and modeling of flooding in urban drainage systems. Journal of hydrology. 2004;299(3-4):300-11.
3. Panahi G, Esmaili K. Recommendation of new approaches for urban flood management. Journal of Water and Sustainable Development. 2018;5(1):93-100.
4. Karamouz M, Nazif S, Zahmatkesh Z. Self-organizing Gaussian-based downscaling of climate data for simulation of urban drainage systems. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 2013;139(2):98-112.

5. Jadav D, Mishra K. Design of urban stormwater drainage at Gandhinagar tp area based on civilstorm software. *International Journal of Progressive Research in Engineering Management and Science*. 2023;3:206-12.
6. Karimi V, Solaimani K, Roshan MH, Shahedi K. Simulation of flow in open & closed conduits by EPA-SWMM model (case study: Babolsar urban watershed). *Journal of Watershed Management Research*. 2015;6(11):162-70.
7. zebardast m, Roshani A. Investigating the Use of Urban Rainfall for Green Space Usage using Civil Storm Software (Case Study: Southern Part of Mashhad City). *Journal of Water and Sustainable Development*. 2019;6(1):51-60.
8. Rafiee MR, Rasouli D, Zolghadr M, Mahbod M. Evaluation of EPA SWMM, ASSA and Sewer GEMS Models in Analysis of Urban Flood Collected by Surface Drainage Network (Case Study: Lar New City). *Water Resources Engineering*. 2022;15(54):107-24.
9. Fattahi R, Shayanazadeh M, Abdollahi K. Estimation and Reconstruction of Annual Maximum 24-H Rainfall Data Using Combination of Genetic Algorithm and Artificial Neural Networks Models (Case Study: Chaharmahal va Bakhtiyari Province). *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*. 2013;7(22):53-62.
10. Samadi borojeni H, Emad K, Fattahi R. Evaluation of short term rainfall analysis methods (case study: shahrekord station). *Journal of water sciences and engineering*. 2011;1(1):7-19.
11. Maidment DR. *Handbook of hydrology* 1992.